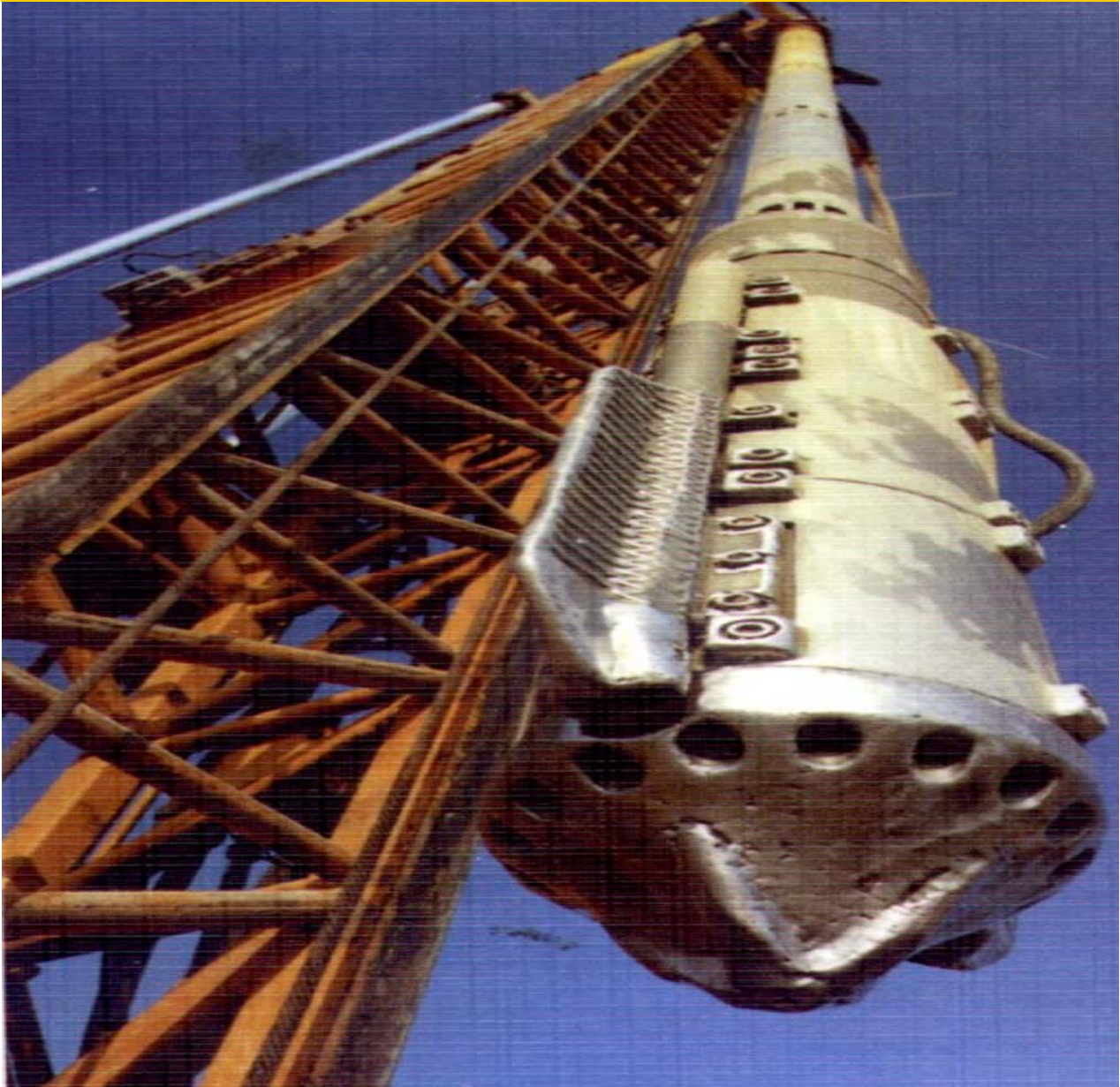


N.21

Janeiro / Fevereiro 2004

# TÉCNICAS DE MELHORAMENTO DE SOLOS - Parte 3

## INJECCÕES e VIBROCOMPACTAÇÃO



Nuno Gonçalo Cordeiro  
Marques de Almeida

 **CONSTRULINK**  
Pres

EDIÇÃO:  
CONSTRULINK PRESS

Construlink, SA  
Tagus Park, - Edifício Eastecnica  
2780-920 Porto Salvo, Oeiras

Tel . +351 214 229 970  
[apoio@construlink.com](mailto:apoio@construlink.com)

A monografia apresentada foi  
realizada na cadeira de  
Reabilitação de Construções do 12º  
Mestrado em Construção

Coordenador: Pedro Vaz Paulo  
Editores:

Nuno Chambel  
Jorge Sequeira

## ÍNDICE

<b>1. INJECCÕES</b>	<b>1</b>
1.1. INTRODUÇÃO	1
1.2. CAMPO DE APLICAÇÃO	1
1.3. VANTAGENS, DESVANTAGENS E LIMITAÇÕES	2
1.4. EQUIPAMENTOS E MATERIAIS	3
1.4.1. MATERIAIS	3
1.4.2. EQUIPAMENTO	5
1.5. PROCESSO CONSTRUTIVO	10
1.5.1. MÉTODOS DE INJECCÃO	10
1.5.2. CONSIDERAÇÕES SOBRE A OPERAÇÃO DE INJECCÃO	11
1.5.3. PROCEDIMENTO DE EXECUÇÃO	15
1.6. ENSAIOS E CONTROLO DE QUALIDADE	16
1.7. REFERÊNCIA AO PROJECTO	18
1.8. EXEMPLOS	19
<b>2. VIBROCAMPACTAÇÃO</b>	<b>22</b>
2.1. INTRODUÇÃO	22
2.2. CAMPO DE APLICAÇÃO	23
2.3. VANTAGENS, DESVANTAGENS E LIMITAÇÕES	24
2.4.1. CONSIDERAÇÕES RELATIVAS À VIBROSUBSTITUIÇÃO	25
2.4.2. EQUIPAMENTOS E MATERIAIS	28
2.4.3. PROCESSO CONSTRUTIVO	29
2.4.4. ENSAIOS E CONTROLO DE QUALIDADE	32
2.4.5. REFERÊNCIA AO PROJECTO	33
2.4.6. EXEMPLOS	35
2.5. VIBROFLUTUAÇÃO	35
2.5.1. CONSIDERAÇÕES RELATIVAS À VIBROFLUTUAÇÃO	35
2.5.2. EQUIPAMENTOS	36
2.5.3. PROCESSO CONSTRUTIVO	38
2.5.4. ENSAIOS E CONTROLO DE QUALIDADE	39

2.5.5. REFERÊNCIA AO PROJECTO	40
2.5.6. EXEMPLOS	41
<b>3. BIBLIOGRAFIA</b>	<b>42</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 22 - Composição de calda de cimento, água e bentonite (esquerda) e esquema representativo do campo de aplicação das diferentes composições de caldas (direita)	4
Figura 23 - Equipamento para furação	6
Figura 24 - Central de fabrico de caldas de injeção	6
Figura 25 - Misturadora e agitador	7
Figura 26 - Circuito de injeção (esquerda) e obturador (direita)	9
Figura 27 - Sequência da injeção descendente	10
Figura 28 - Sequência da injeção ascendente	11
Figura 29 - Representação esquemática de injeções em série	14
Figura 30 - Método dos split-spacings	14
Figura 31 - Equipamento de ensaio da calda de injeção	17
Figura 32 - Execução de ensaios de Lugeon	17
Figura 33 - Furo concluído	18
Figura 34 - Tipos de injeção	21
Figura 35 - Domínios de aplicação das técnicas de vibrocompactação	23
Figura 36 - Reordenação das partículas	24
Figura 37 - Exemplos de aplicação de estacas de brita	25
Figura 38 - Estacas de brita	26
Figura 39 - Estacas de brita para tratamento ao deslizamento (esquerda) e disposição em planta das estacas de brita neste caso concreto (direita)	26
Figura 40 - Disposição das estacas de brita sob sapatas	27
Figura 41 - Vibrador trémie que tem, na sua extremidade superior, um crivo e uma tremonha para a alimentação da brita (esquerda) e alimentação de brita através dos órgãos próprios do vibrador - tremonha (direita)	28
Figura 42 - Gruas móveis com vibrador corrente suspenso	29

Figura 43 - Painel de comando na cabine do operador (esquerda) e painel e unidade central do aparelho (direita)	29
Figura 44 - Fases de execução de estacas de brita com vibrador trémie	31
Figura 45 - Fase de execução de estacas de brita com recurso a vibrador corrente	32
Figura 46 - Alimentação de brita por gravidade, pela abertura do furo originado pelo vibrador	32
Figura 47 - Registos dos ensaios de carga de colunas de brita	33
Figura 48 - Exemplos da técnicas de melhoramento de solos por vibrosubstituição ou colunas de brita	35
Figura 49 - Vibradores utilizados na vibroflutuação	36
Figura 50 - Equipamento de vibroflutuação em actividade	37
Figura 51- Malhas quadrangular (esquerda) e triangular (direita) dos pontos de aplicação do equipamento de vibração	38
Figura 52 - Penetração do vibrador no terreno	39
Figura 53 - Depressão cónica gerada pela vibroflutuação	39
Figura 54 - Execução da técnica de vibrocompactação variante designada por vibroflutuação	41

## **ÍNDICE DE QUADROS**

Quadro1 - Características técnicas do equipamento para vibroflutuação	37
Quadro2 - Relação entre compacidade, densidade e resultado do ensaio SPT	41

# 1. Injecções

## 1.1. INTRODUÇÃO

Este método de tratamento de solos consiste na introdução no terreno de material a pressão e caudal controlados, com o intuito de melhorar as características resistentes e compacidade, bem como reduzir a deformabilidade e permeabilidade do solo tratado.

O material de injeção deve ser introduzido a pressão controlada por razões económicas e para não alterar as zonas tratadas ou provocar efeitos indesejados, devendo manter as propriedades plásticas durante a aplicação.

Um aspecto revestido de especial importância é a realização de sondagens de reconhecimento da zona a tratar. É intuitivo que o preenchimento de ocos ou cavidades existentes no subsolo permite a sua estabilização, se bem que a dimensão dos mesmos e sua eventual continuidade podem inviabilizar este tipo de tratamento. Assim, no essencial, as referidas injeções são aplicadas com o intuito de compactar e impermeabilizar as rochas fracturadas e os solos porosos.

## 1.2. CAMPO DE APLICAÇÃO

Esta técnica de melhoramento de solos é, sobretudo, aplicada nas seguintes situações genéricas:

- Obras Hidráulicas
- Obras Subterrâneas
- Renivelamento de Edifícios (injeção por fracturação hidráulica)

Nomeadamente, podem ser enumeradas as seguintes aplicações específicas:

- Melhorar as condições de apoio das fundações existentes
- Cortar aflúncias de água por camadas permeáveis
- Criar maciços consolidados sob um edifício para transmissão de novas cargas,

logo, melhorando o seu comportamento em serviço

- Solidarizar fundações antigas, melhorando a área de repartição de cargas e criando autênticas lajes cimentadas
- Construir barreiras ou elementos rígidos em torno de construções por forma a evitar deslocamentos horizontais em escavações próximas

Os tipos de solo alvo para este tipo de técnica são:

- Solos rochosos fracturados
- Solos porosos

### **1.3. VANTAGENS, DESVANTAGENS E LIMITAÇÕES**

As duas principais vantagens que constituem a força do método relativamente às técnicas concorrentes são:

- Campo alargado de aplicação
- Técnica largamente difundida

Por outro lado, os pontos negativos a apontar decorrentes do uso da técnica são os seguintes:

- Controlo de qualidade exigente e forte componente de ensaios dos materiais e calibração dos equipamentos usados durante e após conclusão dos trabalhos, conforme se descreverá adiante
- Consumos consideráveis de material em zonas com acidentes geológicos ou de permeabilidade elevada
- Técnica dificilmente controlada
- Danos irreversíveis em infra-estruturas ou construções próximas
- Estabilidade a longo prazo duvidosa
- Contaminação de solos e água
- Existem ainda algumas anomalias muito prováveis de acontecer, que deverão ser corrigidas:
- Ressurgências à superfície do terreno. Se, no decurso das injeções, se verificar o

aparecimento de fugas ou de ressurgências de calda nas vizinhanças do furo, deverão ser tapadas as saídas por meio de argamassa de presa rápida ou de cunhas de madeira, enquanto a pressão de injeção for baixa e a calda injectada espessa. Caso não se consiga colmatar a fuga, parar-se-á a injeção evitando o refluxo da calda para o interior do furo

- Forte absorção de calda espessa sem que a pressão mostre tendência a subir. Neste caso, é necessário procurar uma explicação para o acontecimento que pode estar relacionado com um acidente geológico importante não detectado ou com a presença de zonas permeáveis de grandes dimensões.

## **1.4. EQUIPAMENTOS E MATERIAIS**

### **1.4.1. Materiais**

#### **1.4.1.1. Calda de Cimento**

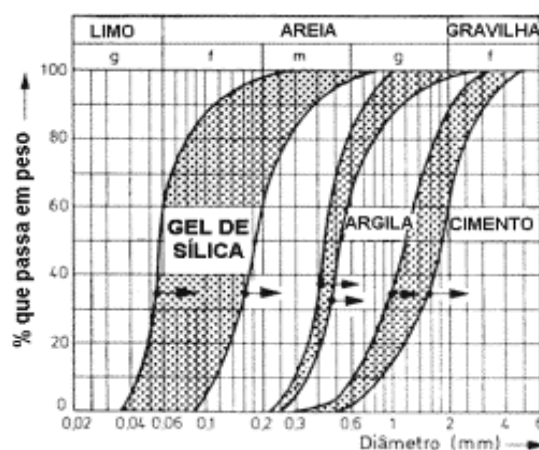
O êxito de uma injeção é dependente das propriedades do material de injeção. A composição de materiais envolvida no processo é a sobejamente conhecida calda de injeção, que pode ser classificada quanto ao tipo de materiais usados na sua composição nas seguintes categorias principais:

- Suspensões Instáveis: são, em geral, misturas de cimento com a água, não homogêneas, salvo quando se mantêm em agitação;
- Suspensões Estáveis: caldas obtidas a partir de uma mistura em água de uma combinação de cimento e argila ou de bentonite e, eventualmente, aditivos; não apresentam decantação apreciável durante as operações de injeção;
- Líquidas: constituídas por produtos químicos, resinas, hidrocarbonetos, etc..

As caldas mais correntemente empregues nas injeções são à base de cimento. Poderão ser apenas caldas de água e cimento ou água, cimento e outros produtos como a bentonite e a argila que melhoram a sua estabilidade ou inertes, como por exemplo, a areia que funciona como elemento de carga.

A justificação para que calda de cimento e água seja bastante usada consiste no seu alto rendimento e baixo custo, comparativamente com as restantes soluções. No entanto, tem o principal inconveniente de ser uma suspensão instável (ver classificação supra).

A estabilidade de uma suspensão é muito importante e a sua ausência provocará a decantação, e conseqüentemente uma injeção incompleta e falhas no equipamento (por exemplo, a obturação dos tubos). Por esta razão, é aconselhável o uso de caldas com base de cimento e outras componentes e/ou aditivos (*figura 22*).



*Figura 22.* Composição de calda de cimento, água e bentonite (esquerda) e esquema representativo do campo de aplicação das diferentes composições de caldas (direita)

Refira-se ainda (*figura 22*) que as injeções de cimento são apropriadas para aplicações em solos com materiais granulares grossos (cascalhos arenosos, areias grossas, etc.). Para o caso de areias finas ou argilas. Deve-se recorrer à impregnação química com gel de sílica ou resinas. Em geral, os limos e argilas não admitem este tipo de tratamento salvo com algumas resinas de elevado custo e resultados duvidosos.

Uma vez seleccionado o tipo de produto a injectar, deve-se especificar o tempo de consolidação ou cura e a resistência final.

Segundo o comportamento reológico das caldas utilizadas nas injeções, estas

podem ser agrupadas em dois grupos básicos:

- Caldas de Partículas ou Suspensões: penetrabilidade depende da relação do tamanho das partículas da calda e dos poros ou fracturas a injectar
- Caldas sem Partículas ou Soluções: penetrabilidade depende da viscosidade e duração da injeção

## 1.4.2. Equipamento

O equipamento a utilizar está directamente relacionado com o tipo de calda a injectar. Neste sub capítulo, são apresentados os equipamentos utilizados nas injeções com calda de cimento, por serem estes os mais utilizados, ainda que com os inconvenientes descritos anteriormente.

### 1.4.2.1. Equipamento de furação

O equipamento para a furação poderá ser o mesmo que é utilizado para a furação das ancoragens (*figura 23*). Os equipamentos de furação podem estar vocacionados para realizar a furação à percussão, por rotação ou combinando as duas.





*Figura 23.* **Equipamento para furação**

Este equipamento está habilitado a deslocar-se e instalar-se sobre superfícies altamente irregulares e íngremes, para executar os furos de injeção em qualquer ponto.

#### 1.4.2.2. Central de fabrico de calda de injeção

As caldas deverão ser preparadas numa central de injeção (*figura 24*) que deverá



*Figura 24.* **Central de fabrico de caldas de injeção**

estar equipada com todo o material necessário à preparação e conservação das caldas. Os doseadores volumétricos ou ponderadores deverão permitir a realização das misturas previstas com a precisão desejável.